



Teknisk pelletkvalité och foderförlust av fiskfoder gjort på biprodukter från fisk

Influence of fish by-products in fish feed on technical pellet quality and feed loss

Jenny Dahlberg

Examensarbete/Självständigt arbete • (15hp)
Sveriges lantbruksuniversitet, SLU
Institutionen för husdjurens utfodring och vård
Agronomprogrammet - Husdjur
Serietitel, arbetets nummer i serien •
Uppsala 2020



Teknisk pelletkvalité och foderförlust av fiskfoder gjort på biprodukter från fisk

Influence of fish by-products in fish feed on technical pellet quality and feed loss

Jenny Dahlberg

Handledare: Aleksandar Vidakovic, SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Examinator: Anders Kiessling, SLU, Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Omfattning: 15hp

Nivå och fördjupning: Grundnivå, G2E

Kurstitel: Självständigt arbete i husdjursvetenskap

Kurskod: EX0865

Program/utbildning: Agronomprogrammet - Husdjur

Kursansvarig inst.: Husdjurens utfodring och vård

Utgivningsort: Uppsala

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Adrian Gortzak

Serietite

Delnummer i serien:

ISSN:

Nyckelord: Teknisk pelletkvalité, pellethårdhet, pellethållbarhet, pelletdensitet, biprodukter, fiskensilage, foderförlust

Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för veterinärmedicin och husdjursvetenskap

Institutionen för husdjurens utfodring och vård

Publicering och arkivering

Godkända självständiga arbeten (examensarbeten) vid SLU publiceras elektroniskt. Som student äger du upphovsrätten till ditt arbete och behöver godkänna publiceringen. Om du kryssar i **JA**, så kommer fulltexten (pdf-filen) och metadata bli synliga och sökbara på internet. Om du kryssar i **NEJ**, kommer endast metadata och sammanfattning bli synliga och sökbara. Fulltexten kommer dock i samband med att dokumentet laddas upp arkiveras digitalt.

Om ni är fler än en person som skrivit arbetet så gäller krysset för alla författare, ni behöver alltså vara överens. Mer information om publicering och arkivering går att hitta här: <https://www.slu.se/site/bibliotek/publicera-och-analysera/registrera-och-publicera/avtal-for-publicering/>.

☒ JA, jag/vi ger härmed min/vår tillåtelse till att föreliggande arbete publiceras enligt SLU:s avtal om överlåtelse av rätt att publicera verk.

☐ NEJ, jag/vi ger inte min/vår tillåtelse att publicera fulltexten av föreliggande arbete. Arbetet laddas dock upp för arkivering och metadata och sammanfattning blir synliga och sökbara.

Sammanfattning

Sverige får årligen omkring 20 000–60 000 ton biprodukter från den industriella bearbetningen av fisk och skaldjur. Syftet med denna studie är att analysera om biprodukternas tillsatts i fiskfoder har en påverkan på den tekniska pelletkvaliteten samt att dra slutsatser av fiskfodrets foderförlust kopplat till pellethållbarhet. Fiskensilage har gjorts av biprodukter från sill (*Clupea harengus*) och tillsatts i fiskfoder. Totalt gjordes 10 dieter, ett kontrollfoder (CTRL) utan biprodukter och resterande gjorda med låg (L), medel (M) eller hög (H) dos av fiskensilage som ensilerats under 1, 3 eller 7 dagar. Den tekniska pelletkvaliteten undersöktes med koppling till pellethårdhet analyserat med Khal test, pellethållbarhet analyserat med Holmen test och pelletdensitet analyserat enligt Sørensen (2012). Biprodukternas effekt på tekniska pelletkvaliteten analyserades genom att jämföra CTRL med dieter innehållande fiskensilage. Vi fann inga signifikanta skillnader med undantag från S1H vars pelletdensitet var signifikant ($p < 0,05$) högre än CTRL. Dieter innehållande fiskensilage har numerisk högre hållbarhet jämfört med CTRL vilket innebär att fiskensilage kan ha en positiv inverkan på pellethållbarheten och därmed minskar dess foderförlust.

Nyckelord: Teknisk pelletkvalité, pellethårdhet, pellethållbarhet, pelletdensitet, biprodukter, fiskensilage, foderförlust

Abstract

Swedish seafood industries generate around 20 000–60 000 tons of by-products yearly. This study aims to investigate if the by-products inclusion in fish feed has an impact on the technical pellet quality and to conclude the feed loss with pellet durability as the indicator. Fish silage was made off by-products from herring (*Clupea harengus*) and included in the fish feed. Ten diets in total were made, one control diet (CTRL) without by-products and the remaining were made with low (L), medium (M) or high (H) dosage of fish silage, which was ensiled for 1, 3 or 7 days. The technical pellet quality parameters were investigated, pellet hardness analyzed with Khal test, pellet durability analyzed with Holmen test, and pellet density analyzed according to Sørensen (2012). The effect of the by-products on the technical pellet quality was examined by comparing diets with by-products inclusion with the CTRL diet. We found no significant differences, except for S1H, which pellet density was significantly ($p < 0,05$) higher than CTRL. Diets containing fish silage had numerically higher durability compared to CTRL, which means that fish silage can have a positive impact on pellet durability and therefore decreasing its feed loss.

Keywords: Technical pellet quality, pellet hardness, pellet durability, pellet density, by-products, fish silage, feed loss

Innehållsförteckning

1. Inledning.....	7
2. Litteraturgenomgång	9
2.1. Fiskensilage.....	9
2.2. Extrudering	9
2.3. Tekniska pelletkvalitén	10
2.4. Pneumatisk transport.....	10
2.5. Foderförlustens påverkan på miljön	11
3. Material och metod	12
3.1. Utfört innan denna studie	12
3.1.1. Fodrets framställning	12
3.1.2. Pelletdensitet	15
3.2. Analyser utförda i denna studie	15
3.2.1. Pellethårdhet.....	15
3.2.2. Pellethållbarhet	15
3.2.3. Statistisk analys	16
4. Resultat.....	17
5. Diskussion.....	19
5.1. Fodrets foderförlust	21
6. Slutsatser	24
Referenser.....	25
Bilaga 1.....	30

1. Inledning

Under de senaste åren har den totala fiskfångsten globalt varit omkring 90 miljoner ton per år (FAO 2018). Innan försäljning kommer en stor del av fisken genomgå industriell bearbetning som kan leda till så mycket som 70% biprodukter. Dessa biprodukter kan exempelvis vara huvud och lever som innehåller omega-3-fettsyror och högkvalitativa protein (Olsen *et al.* 2014). I Sverige fås årligen omkring 20 000–60 000 ton biprodukter från den industriella bearbetningen av fisk och skaldjur (Holmgren 2020). En del av dessa biprodukter köps upp av Danmark som gör det till fiskmjöl, som framförallt går till mink- och fiskfoder (Bergman 2015). En del kommer även komposteras eller rötas (Jordbruksverket 2019), men det är inte tillåtet att dumpa avfallen direkt i vatten enligt Sveriges miljö- och energidepartement (SFS 2016:784). Det gäller oavsett om det sker på land eller från fartyg (HaV 2018). Om alla biprodukter skulle användas till foder hade det varit en miljöåtgärd, samtidigt som de begränsande fiskbestånden skulle utnyttjas mer effektivt (FAO 2012).

Detta studentarbete är en del av ett större forskningsprojekt Engineering Nutritious Seafood by-products to Improve Local Aquaculture Growth and Environment (ENSILAGE). Syftet med projektet är att förädla och återinföra biprodukter från fisk och skaldjur till livsmedelskedjan på ett miljömässigt, socialt och ekonomiskt hållbart sätt. Biprodukterna framställas till ensilage och torkas, fiskensilage kan sedan blandas in i olika fiskfoder med andra passande ingredienser för den fiskart som ska utfodras. Studiens modellart är regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*) och de framtagna foderrecepten uppfyller näringsbehovet för arten.

Fiskfoders näringsmässiga kvalitet har ofta studerats, men den tekniska kvalitet studeras sällan (Sørensen 2012). Det finns dessutom inga studier som undersökt vilken påverkan fiskensilage har på fiskfodrets tekniska kvalitet. För att pelleten ska kunna hantera mekanisk stress under transport, lagring och utfodring är det viktigt att den tekniska pelletkvalitén är hög (Aarseth *et al.* 2006a). Oftast transporteras foder på fiskodlingen från silon till kassodling med hjälp av tryckluft i så kallad pneumatisk transport (Aarseth 2004). Under sådan transport kan foderpellets generera fina partiklar och damm som skapas från exempelvis kollisioner med

rörens väggar (Pitchumani *et al.* 2003). Det damm och fina partiklar som genereras orsakar miljöeffekter och ekonomiska förluster (Aas *et al.* 2011b).

Syftet med denna studie är att analysera om de ensilagebaserade biprodukterna från fisk kommer att ha någon påverkan på den tekniska pelletkvaliteten. Den insamlade datan om pellethållbarhet kommer indirekt kopplas till foderförlust. Pellethårdhet analyseras för att kunna uppnå optimalt foderintag, detta då ett för hårt foder kan minska fiskens foderintag (Stradmeyer *et al.* 1988; Aas *et al.* 2011b). Det analyseras även eftersom en för hård eller mjuk pellet kan orsaka matsmältningsstörningar (Pillay & Kutty 2005; Baeverfjord *et al.* 2006; Aas *et al.* 2011b). Pelletdensitet analyseras då en bra densitet är en förutsättning för att uppnå en lyckad oljebehandling, en process där olja adderas i pelleten för att få högenergi och höga nivåer av omega-3-fettsyror. Insamlat resultat kommer jämföras med andra liknande studier. Frågeställningarna som ämnas besvaras är: Vilken inverkan har biprodukterna på fiskfodrets tekniska pelletkvalité? Baserat på pellethållbarhet vilken foderförlust kan fodret ha?

2. Litteraturgenomgång

2.1. Fiskensilage

Fiskensilage är en produkt som har en potential att vara ett fungerande fodermedel eftersom det är lätt att framställa och en liten investering krävs. Fiskensilage görs av hela fiskar eller enbart delar av dem (Arruda *et al.* 2007) som mals ner och blandas med en kortkedjig organisk syra (Espe *et al.* 2015). Vid närvaro av syran kommer fiskensilaget bli till en flytande produkt (Gallardo *et al.* 2012). Detta då proteiner i ensilaget hydrolyseras till mindre peptider och fria aminosyror av endogena, dvs fiskens kroppsegna, proteolytiska enzymer (Espe *et al.* 2015). Syran som adderas i ensilaget kommer sänka pH-värdet och för att minska bakteriell tillväxt rekommenderas pH att vara under 4 (Bower & Hietala 2008).

2.2. Extrudering

Fiskfoder görs idag till stor del i en process kallad extrudering, detta ger fodret bra tekniska samt nutritionella kvaliteter (Hilton *et al.* 1981). Extrudern består av en cylinder med en singel- eller dubbelskruv. Skruven är normalt monterad med en serie av upprepande omrörnings och transportelement. Hög temperatur (120–130°C), högt tryck (20-50bar) och skjuvkraft omvandlar foderingredienserna i extruderingscylindern till en smälta. En fuktighet måste finnas i processen för att gelatinisering av stärkelse och hydreringen av proteiner ska ske. Fodermassan kommer i slutet av extruderingen att formateras till pellets, detta görs med munstycket i kombination med roterande knivar som skär pelleten till en önskad längd (Sørensen 2012). Pelleten expanderar genom att vattnet avdunstar när den lämnar munstycket, detta sker på grund av att pelleten går från ett högt tryck till atmosfärtryck. Denna reaktion lämnar små porer i pelleten som kan fyllas med olja (Strahm 1998). Högenergi pellets brukar fyllas med olja i ett vakuumbeläggningssystem och det görs innan den kyls ner och förvaras i påsar (Sørensen 2012). För att kunna förvara pelleten under längre tid brukar man efter

extruderingen torka pelleten genom att minska fuktigheten från ungefär 300g kg⁻¹ till 80g kg⁻¹ (Sørensen 2012).

2.3. Tekniska pelletkvalitén

Den tekniska pelletkvalitén är viktig för att pelleten ska kunna klara transport, hantering samt pneumatiska fodersystem utan att de går sönder och skapar för mycket fina partiklar (Aarseth 2004). Men det är också viktigt att den tekniska pelletkvaliteten inte påverkar fiskens foderintag och digestion (Stradmeyer *et al.* 1988; Baeverfjord *et al.* 2006). Parametrar som analyseras i denna studie är pellethållbarhet, hårdhet och densitet.

Pellethållbarhet definieras som mängden fina partiklar producerade från ett prov av pellets efter att de utsätts för mekanisk eller pneumatisk inverkan (Thomas *et al.* 1998). En pellet med hög hållbarhet kommer sönderdelas mindre i den pneumatiska transporten samt att färre fina partiklar kommer bildas vid paketering och förvaring (Aarseth, 2004; Sørensen *et al.* 2009; Aas *et al.* 2011b). Skador på pelleten kan frigöra små partiklar som orsakar utsläpp av näringsämnen i vattnet (Aarseth *et al.* 2006a).

Den maximala kraften som krävs för att krossa en pellet definieras som pellethårdhet. Hårdheten är viktig att analysera eftersom ett för hårt foder kan orsaka matsmältningsstörningar för fisken, som kan få en svullnad i magen orsakad av jäsning och gasbildning (Pillay & Kutty 2005). Ett för hårt foder kan även resultera i ett minskat foderintag hos fisken (Stradmeyer *et al.* 1988; Aas *et al.* 2011b). Extruderat foder som är för mjukt har även visat sig kunna orsaka oljeseperation i fiskens mage (Baeverfjord *et al.* 2006; Aas *et al.* 2011b).

Pelletdensiteten är en egenskap hos pelleten som bestämmer dess flytförmåga och sjunkningshastighet (Chevanan *et al.* 2007, 2009). En sjunkande pellet har en högre densitet samt en mindre expansion jämfört med en flytande pellet. Dessutom ger en mindre expansion mindre utrymme för tillsats av olja. Expansionen under extruderingen är direkt kopplad till dess densitet (Glencross *et al.* 2011).

2.4. Pneumatisk transport

Pneumatisk transport är ett vanligt sätt att transportera foder från dess förvaring till kassodlingarna med tryckluft. Fodret kommer under denna transport utsättas för mekanisk stress som orsakar sönderdelning samt nötning av pelleten (Aarseth *et al.* 2006a), detta sker när pelleten kolliderar med rörens väggar (Salman *et al.* 2002; Aarseth, 2004; Aarseth *et al.* 2006a). Mindre partiklar och damm som skapas vid skador saknar ett nutritionellt värde som leder till en foderförlust samt en ökad

produktionskostnad. Partiklarna kan även fastna i rören som i värsta fall skapar blockeringar samt mikrobiell tillväxt (Aarseth *et al.* 2006a). De små partiklarna kommer också leda till oönskade utsläpp av näringsämnen. För att kunna undvika dessa skador är tekniska pelletkvaliteten kopplad till pellethållbarhet samt hårdhet viktig (Aarseth *et al.* 2006a). När ett foder görs är målet att uppnå höga tekniska pelletkvaliténivåer men det saknas standardvärden för hållbarhet och hårdhet. En anledning till att en standard inte satts ännu kan bero på att det saknas en standardisering av utrustning och mätningar för just dessa parametrar (Sørensen 2012)

För att fodret ska hållas svävande i rören under transporten, måste luftflödet i rören uppnå en viss hastigheten (Aarseth *et al.* 2006a). En av de främsta orsakerna till foderskadorna beror på en för hög lufthastighet eftersom pelleten då kolliderar kraftfullare med rörens väggar (Kalman, 1999; Salman *et al.* 2002; Aarseth *et al.* 2006a; Aas *et al.* 2011a). Andra parametrar som också påverkar graden av skador på pellets är den totala fodermassa som lastas i transportsystemet (Kalman, 1999) och krökarnas design (Salman *et al.* 2002).

Pitchumani *et al.* (2003) har identifierat tre olika sätt som pelleten skadas under pneumatisk transport. Första sättet är skador som orsakar avskavning och nötning av ytan på pelleten som ger upphov till nya mindre partiklar från den ursprungliga pelleten. Denna skada tillkommer vid interaktioner mellan partikel till partikel eller partikel och rörets vägg. Andra sättet av skador som sker är genom flisning där större fragment av material förflyttas från partiklar. Det är de svaga punkterna, hörn och kanter som är mottagliga för denna skada (Taylor, 1998). Den sista och tredje sättet pelleten skadas på sker i högre transporthastigheter då produkten spricker i exempelvis en rät vinklad krök (Klinzing *et al.* 1997). Holmen test som mäter pellethållbarheten kan användas för att förklara de produktförluster som sker genom nötning och flisning (Payne *et al.* 1994).

2.5. Foderförlustens påverkan på miljön

Skador som sker på pelleten i exempelvis pneumatisk transport kan ge upphov till fina partiklar som kan skada ekosystemet. Dessa partiklar kan addera till sediment på botten eller spridas längre från odlingen. Bottenfloran och faunan nedanför fiskodlingen tar upp näringsämnena från skadad pellets, om den aeroba kapaciteten överstigs kommer de fina partiklarna samla sig på botten och förändra biodiversiteten. I värsta fall kan det skapa giftiga förhållanden där livet på bottensedimentet dör ut samt att havsgräs kan kvävas. Något som påverkar hur illa utgången blir är fiskodlingens placering med dess tillgångar till lokala strömmar och vattendjup (White 2013).

3. Material och metod

3.1. Utfört innan denna studie

3.1.1. Fodrets framställning

Biprodukterna i studiens foder är gjort av sill (*Clupea harengus*) från en fångst med garn den 24 mars 2019 i västra Östersjön. Chalmers tekniska högskola fileade sillen den 26 mars 2019 och allt utom filén användes till att göra fiskensilage. Dessa biprodukter var bland annat huvud, ryggrad, skinn, stjärtfena och inälvor. Institutionen för husdjurens utfodring och vård på Sveriges lantbruksuniversitet skapade foderrecepten samt fiskfodret under hösten 2019. Fodret är gjort för att uppfylla näringsbehoven för fiskarten regnbåge (*Oncorhynchus mykiss*), fodrets sammansättning kan ses i tabell 1. Totalt skapades tio olika foder bestående av ett kontrollfoder (CTRL) och resterande gjorda med låg (L), medel (M) eller hög (H) inblandning av fiskensilage samt att de även har ensilerats i 1, 3 eller 7 dagar. För att inte riskera att fodrets smaklighet påverkas av andra ingredienser förutom fiskensilage har ingredienserna i stort sett samma inblandning i de olika dieterna, detta gäller speciellt för fiskmjöl.

Ensileringen påbörjades den 26 mars 2019 där första steget var att mala ner fiskbiprodukterna. De malda biprodukterna från sill, 340 kg, blandades med 2,55kg antioxidant (0,75% våt vikt (vv)) samt 8,5 liter av 85% karboxylsyra (2,5% vv). Ensilaget hade under första 30 minuterna ett pH av 3,4 och en temperatur på 13,8°C. Efter dag 1 hade ensilaget pH 3,54 och temperatur 19,0°C, efter dag 3 var pH 3,62 samt temperatur 18,2°C och dag 7 hade ensilaget pH 3,63 och temperatur av 18,2°C. Efter ensileringen genomfördes sterilisering i omgångar om 100 liter ensilage i 85°C under 30 minuter.

Extruderingen utfördes med en dubbelskrub extruder, modell Ketse 20/40 från Brabender (Kulturstraße 49-55, 47051 Duisburg, Tyskland). Maskinen hade totalt sex värmezoner i extruderingscylindern och munstycke av storleken 2mm användes. Trycket, temperaturen samt hastigheten som användes under extruderingen för de olika dieterna finns sammanställt i tabell 2. Torkningen av fodret utfördes under tre timmar i en ugn med temperatur 60°C.

Pelleten blev oljebehandlad med gentle vacuum coater (GVC) från Amandus Khal (Dieselstrasse 5-9, 21465 Reinbek, Tyskland).

Tabell 1: Diaternas ingredienser, värdena anges som % i våt vikt. Diaternas siffror 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage.

Ingredienser	CTRL	S1L	S1M	S1H	S3L	S3M	S3H	S7L	S7M	S7H
Fiskmjöl	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0	15,0
Sojaprotein koncentrat	21,0	20,3	18,5	15,0	20,3	18,5	14,0	20,3	18,5	14,0
Vetegluten	8,0	6,7	4,3	3,0	6,7	4,3	3,0	6,7	4,3	3,0
Vetemjöl	17,7	17,3	18,0	18,0	17,1	17,1	17,6	16,9	16,7	17,0
Potatisprotein koncentrat	6,5	4,7	2,3	1,0	4,7	2,3	1,0	4,7	2,3	1,0
Potatis stärkelse	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Fiskolja	10,0	8,9	7,3	5,5	9,2	8,2	7,1	9,4	8,6	7,7
Rapsolja	6,0	6,3	6,3	6,7	6,2	6,3	6,5	6,2	6,3	6,5
Vitamin mineral premix	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8
Blodmjöl	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Ensilage 1		5,0	12,5	20,0						
Ensilage 3					5,0	12,5	20,0			
Ensilage 7								5,0	12,5	20
Titandioxid	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Kalciumdi-vätefosfat	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Totalt	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Tabell 2: Temperatur, tryck och hastighet som används under extruderingen. Diaternas siffror 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage.

	Extrudering									
	CTRL	S1L	S1M	S1H	S3L	S3M	S3H	S7L	S7M	S7H
Temp. zon 1 (°C)	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80
Temp. zon 2 (°C)	95	95	95	95	95	95	95	95	95	95
Temp. zon 3 (°C)	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Temp. zon 4 (°C)	125	120	125	125	120	120	120	120	115	115
Temp. zon 5 (°C)	120	120	125	130	120	120	120	120	115	115
Temp. zon 6 (°C)	120	120	120	125	120	120	120	120	115	115
Hastighet (rpm)	400	340	380	380	380	400	380	380	360	400
Tryck (Bar)	45–55	62– 66	55– 65	40	50– 55	55– 64	48– 52	50	40	36– 44

3.1.2. Pelletdensitet

Pelletdensiteten mättes med hjälp av en cylinder med volymen 1 liter. Pellets hälldes in i cylindern tills att en hög formats på toppen, vid behov togs överflödiga pellets bort med en linjal. Innehållet vägdes och vikten registrerades i Excel. För varje diet togs och mättes tre prover.

3.2. Analyser utförda i denna studie

3.2.1. Pellethårdhet

Kahl test utfördes med en handmanövrerad testare som bestod av en 2,5mm fjäder där indikatorn ställdes in på noll innan varje prov. En pellet placerades på långsidan och trycktes sönder mellan två ytor, trycket som krävdes för att krossa pelleten visades i kg. Provet utfördes på fem slumpmässigt utvalda oljebehandlade pellets per diet.

3.2.2. Pellethållbarhet

Analysen gjordes på torkad pellet och inte pellet som var oljebehandlad, detta då oljebehandlad pellet resulterar i oljeläckage som skapar ett sorts klister i maskinen där fina partiklar gärna samlas. Dessutom leder oljeläckage till en felaktig låg vikt (Sørensen *et al.* 2009, 2010).

Holmen test (NHP100, figur 1) utfördes som är en metod som efterliknar den skadan pelleten utsätts för under pneumatisk transport (Sørensen 2012). 100g pellet uppmättes men i två av proven fanns inte 100g tillgängligt, undantaget noterades och analysen gjordes med 96,7g respektive 96,8g. Pelleten hälldes försiktigt in i NHP100 som sen arbetade under 60 sekunder under ett tryck av omkring 70 mBar. Efter 60 sekunder öppnades locken försiktigt och de fina partiklarna dammsögs upp förhand med en vanlig dammsugare. Återstående pellet hälldes upp i en bunke och vägdes. Testet utfördes två gånger för CTRL medan resterande dieter analyserades en gång eftersom det inte fanns mer foder tillgängligt att analysera. Hållbarheten beräknades enligt Sørensen (2012) med följande formel:

$$\text{Hållbarhet} = \frac{\text{Återstående massa efter test [g]}}{\text{Totala massan innan test [g]}}$$



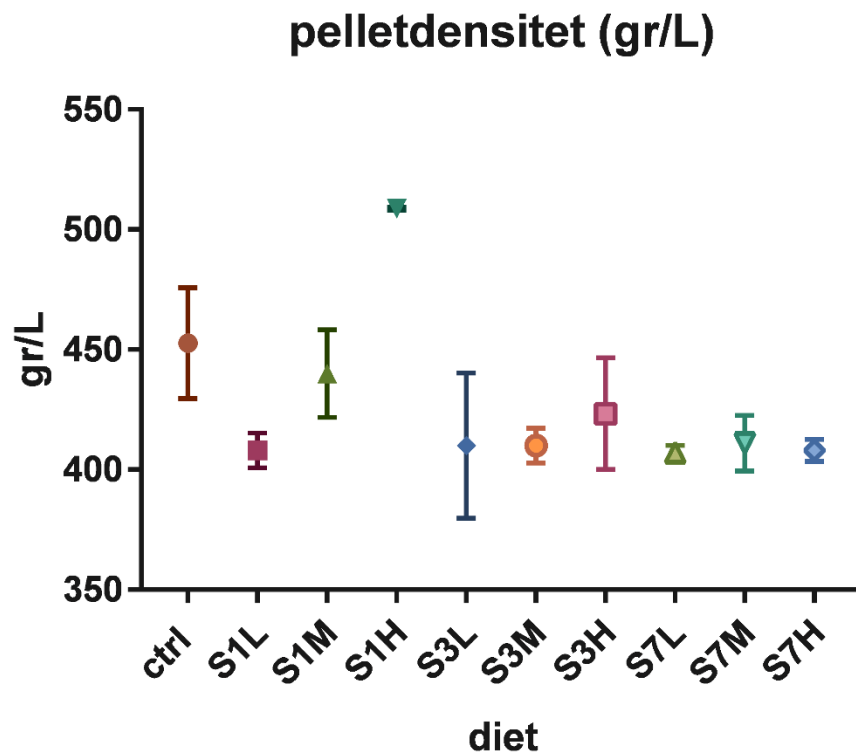
Figur 1: NHP 100 som utför holmen test.

3.2.3. Statistisk analys

Datat analyserades med Envägs ANOVA som är en icke-parametrisk metod. Tukey test användes, vilket innebär att flertalet jämförelsetester utfördes där medelvärdet för varje diet jämfördes med varandra. P-värde mindre än 0,05 definieras som en signifikant skillnad. Den statistiska analysen gjordes i programmet Graphpad Prism 8.

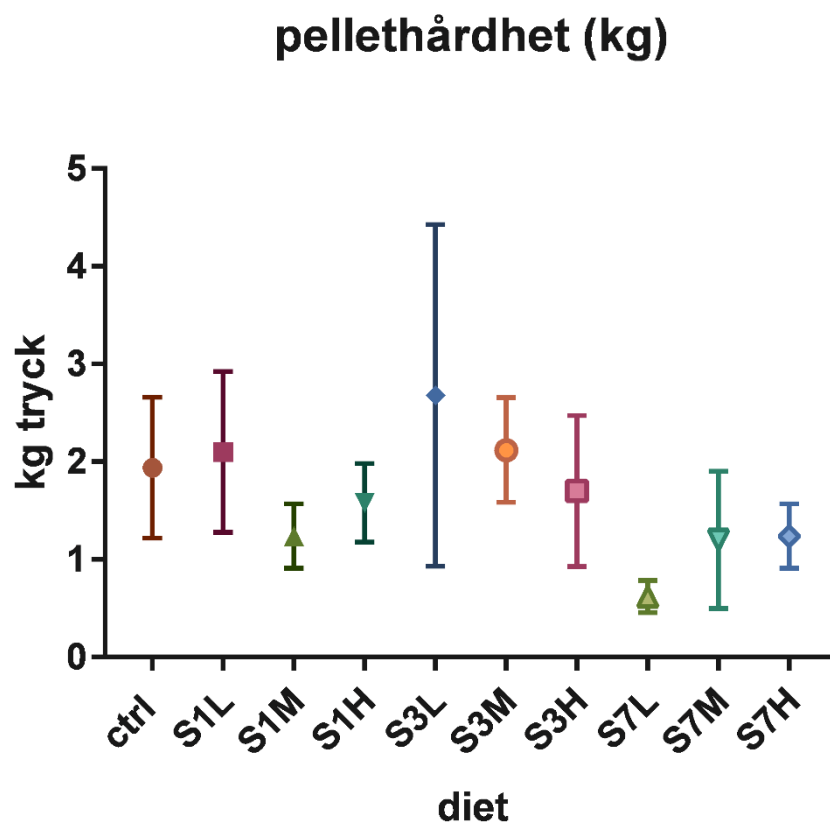
4. Resultat

Resultatet av pelletedensiteten kan ses i figur 2 med dess medelvärde och standardavvikelse, tabell med signifikanta skillnader kan ses i bilaga 1. Dieten S1H skiljer sig signifikant från alla andra eftersom den har högst densitet, S1H och CTRL skiljer sig med P-värde 0,011, S1H och S1M med P-värde 0,0013 medan resterande dieter skiljer sig från S1H med P-värde 0,0001. Dieten S3L har störst standardavvikelse.



Figur 2: Visar varje diets medelvärde samt standardavvikelse av pelletedensitet i g/L. Dieternas siffror 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage

Resultatet av pellethårdhet kan ses med dess medelvärde och standardavvikelse i figur 3, tabell med signifikanta skillnader kan ses i bilaga 1. Dieten S3L skiljer sig signifikant från S7L ($P = 0,0051$), S3L har högst hårdhet medan S7L har lägst. S3L dieten har störst standardavvikelse av alla dieter.



Figur 3: Visar varje diets medelvärde samt standardavvikelse av pellethårdhet i kg tryck. Diaternas siffrorna 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage

Resultatet av pellethållbarhet kan ses i tabell 3, kontrollfodret har numeriskt lägst hållbarhet. Av diaterna innehållande fiskensilage, har de som ensilerats 7 dagar en numeriskt lägre hållbarhet. Inga signifikanta skillnader eller standardavvikelser finns eftersom för få prover analyserades.

Tabell 3: Pellethållbarhet för varje diet visat i %. Diaternas siffrorna 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage.

Pellethållbarhet (%)									
CTRL	S1L	S1M	S1H	S3L	S3M	S3H	S7L	S7M	S7H
72,68	87,98	93,94	91,95	81,05	90,72	81,19	80,45	75,01	80,01

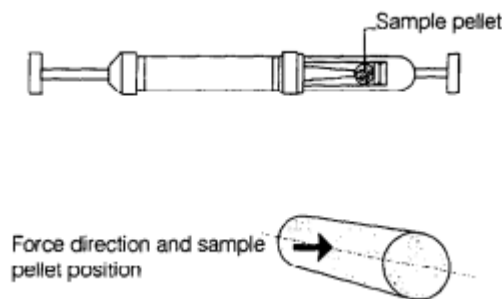
5. Diskussion

Fiskensilage har inte haft en påverkan på pellethårdheten eftersom dieterna innehållande fiskensilage inte skiljer sig signifikant från CTRL. För dieterna S3L och S7L skiljer sig pellethårdheten signifikant åt där S3L har högst hårdhet och S7L lägst. En högre pellethårdhet fås oftast vid en mindre expansion (Aarseth *et al.* 2006b; Hansen & Storebakken 2007), en liten expansion innebär också en ökad pelletedensitet samt mindre utrymme för oljebehandling (Glencross *et al.* 2011). Ett svar till att S3L har en hög pellethårdhet skulle då kunna besvaras av att dieten även har en hög pelletedensitet. Detta är dock inte fallet, dessutom har S3L en stor standardavvikelse för både pellethårdhet och densitet. Denna standardavvikelse skulle däremot kunna fås av instabilitet under extruderingen samt en medföljande högre pellethårdhet än de andra dieterna då det förekom extrem fall med höga värden för pellethårdhet. Dieten S7L har istället lägst hårdhet och i detta fall har även dieten en låg pelletedensitet vilket stämmer överens med tidigare studier (Aarseth *et al.* 2006b; Hansen & Storebakken 2007).

Dieterna innehållande 7 dagars ensilage har en numerisk lägre hårdhet än de andra dieterna. Av dieterna innehållande 7 dagars ensilage har S7H dieten högst hårdhet medan S7L har lägst. För de andra dieterna innehållande biprodukter har en högre inbladning av fiskensilage gett en lägre pellethårdhet.

Det finns inga standardvärden för pellethårdhet Sørensen (2012), men ett antal studier har studerat hårdheten på olika fiskfoder till atlantlax (*Salmo salar*) med varierande resultat (Chen *et al.* 2019; Sørensen 2012; Aas *et al.* 2015; Randey 2018). Enligt Sørensen (2012) har högenergi pellets med diameter 5-6mm en pellethårdhet mellan 20N-40N, vilket motsvarar ungefär 2kg till 4kg. Chen *et al.* (1999) hade pellethårdheten omkring 2 – 6 kg för pellet mellan 6mm till 11mm. Randey (2018) noterade en pellethårdhet mellan 33N-54N, vilket motsvarar ungefär 3,3–5,4kg. Aas *et al.* (2015) hade en pellethårdhet omkring 8kg till 23kg, studien utförde däremot analysen med pelleten stående vilket kan resultera i skilda

värden jämfört med om analysen utförs på en liggande pellet. Eftersom pellet är avlång (se figur 4) bör analys utförd på långsidan vara bättre lämpat eftersom det är dessa ytor som representerar större delen av pelleten.



Figur 4: Visar en avlång pellet samt vilken riktning trycket kommer ifrån då Khal test analysen utförs på en liggande pellet. (Thomas and van der Poel, 1996)

Denna studie har en pellethårdhet mellan 0,62–2,68kg vilket är lågt jämfört med tidigare studier. En del av förklaring kan vara att pelletedensitet i denna studie är lägre, mellan 408-509g/L, jämfört med Randey (2018) och Aas *et al.* (2015) som hade pelletedensitet omkring 600-700g/L. En annan orsak kan vara att pelleten är av mindre storlek, enbart omkring 4mm i denna studie, vilket studier av Chen *et al.* (1999) påvisar korrelerar med en mindre hårdhet. En tredje orsak kan vara att fodret i denna studie inte behandlats med ånga innan extruderingen utfördes.

Signifikanta skillnader för pellethållbarheten kunde inte urskiljas då för få exemplar av proverna utfördes. CTRL dieten har lägst hållbarhet av alla dieter medan de dieter som innehåller 1 till 3 dagars ensilage har numeriskt högst hållbarhet. De dieter som har högst hållbarhet (strax över 90%) är S1M, S1H och S3M. En minskad expansion samt medföljande högre densitet resulterar i en högre pellethållbarhet (Aarseth *et al.* 2006b; Hansen & Storebakken 2007). S1M och S1H hade hög pellethållbarhet och pelletedensitet. Dieten S3M har hög pellethållbarhet men inte en hög densitet, detta kan bero på en instabilitet av trycket och expansionen skedde under extruderingen.

Pelletedensiteten skiljer sig inte signifikant mellan CTRL och de dieter som innehåller biprodukter, med undantag från S1H dieten. Under extruderingen observerades att alla dieter innehållande fiskensilage var i princip lätta att expandera förutom S1H. Temperaturen som användes i extruderingscylinderna var därför högre än hos andra dieter, eftersom en högre temperatur ska ge en ökad expansion. Detta ska i sin tur minska densiteten som helst skulle hållas under 500 g/L för att kunna lyckas med oljebehandlingen. Varför denna diet var svår att expandera under extruderingen är däremot oklart, med det kan potentiellt vara konsekvenser av torkning och förberedelserna av fiskensilaget. Den signifikanta skillnaden som påvisats är däremot enbart en enstaka skillnad och det skulle kunna

vara ett typ 1 fel som innebär att den kan vara en av tjugo observationer som av ren slump visar på signifikans utan att den är verklig.

Många ingredienser i de olika dieterna har en likande inblandning men för en del finns det en större variation mellan de olika dieterna. För exempelvis potatisprotein koncentrat skiljer sig inblandningen från 1% till 6,5%. Detta kan möjligtvis ha en inverkan på dieternas tekniska pelletkvalitet. De analyser som genomförs i denna studie är begränsat där exempelvis vattenstabilitet inte studeras. Den data som presenteras som underlag till resultatet för pellethållbarheten hade kunnat stärkas med fler prover. De metoder som utförts har använts i andra studier, pelletdensitet enligt Sørensen (2012), pellethållbarhet med Holmen test och pellethårdhet med Khal test (Sørensen 2012). Däremot finns det inga studier som tidigare har studerat påverkan av fiskensilage på tekniska pellet kvaliteten, dessutom studeras fiskfodrets tekniska pelletkvalitet sällan (Sørensen 2012). Därför har det varit svårt att jämföra resultatet med andra studier. Den information som tagits upp i denna studie är också mycket av samma författare, vilket i sig kan vara en begränsning för att förstå ett komplext problem.

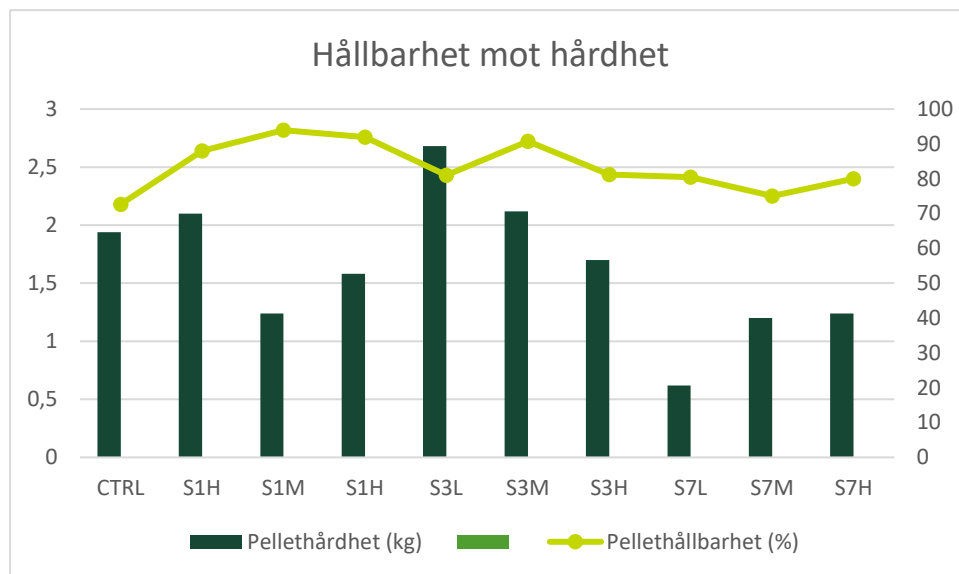
5.1. Fodrets foderförlust

CTRL har numeriskt lägst pellethållbarhet av alla dieter vilket innebär att fiskensilage kan ha en positiv inverkan på pellethållbarheten och kan därmed minska dess foderförluster. De dieter som ensilerats i 7 dagar hade däremot lägst hållbarhet av de som innehåller fiskensilage, det kan då vara fördelaktigt att inte ensilera under så pass lång tid.

Trots att dieterna innehållande fiskensilage har högre hållbarhet än CTRL kommer det oundvikligt bildas damm och fina partiklar vid skador på pelleten. Detta kommer bland annat leda till foderförluster med en resulterande högre produktionskostnad (Aarseth *et al.* 2006a). Den mängd damm och fina partiklar som bildas bestäms dock inte enbart av den tekniska pelletkvaliteten utan även av lufthastigheten (Kalman 1999; Salman *et al.* 2002; Aarseth *et al.* 2006a; Aas *et al.* 2011a), krökarnas design (Salman *et al.* 2002) samt den fodermassa som lastas i den pneumatiska transporten (Kalman, 1999). Det är också viktigt att ha i åtanke att Holmen test som analyserar pellethållbarhet inte inkluderar alla skador som sker på pelleten (Payne *et al.* 1994).

De olika dieternas effekt på miljön beror delvis på fiskodlingens storlek och den mängd foder som används dagligen. Fiskodlingens placering med närhet till lokala strömmar och djup kommer också bestämma hur stor effekt foderförlusten kan ha på miljön (White 2013). Det finns begränsat med forskning om foderförluster och miljöeffekter orsakade från skador på pelleten. Mer forskning hade behövts på området för att kunna bestämma standardvärden på den tekniska pelletkvaliteten.

Enligt Aarseth *et al.* (2006a) är det inte bara pellethållbarheten som är viktig för att pelleten ska kunna hantera pneumatisk transport utan det är även viktigt med pellethårdheten. Med avseende till detta skulle dieter innehållande biprodukter varken vara signifikant bättre eller sämre än CTRL. Dieter som ensilerats 7 dagar har däremot en numerisk lägre hårdhet jämfört med de andra dieterna som även stämmer överens med dess pellethållbarhet, detta visar att en trend finns (se figur 5).



Figur 5: Visar pellethållbarheten mot pellethållbarheten. Dieternas siffrorna 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage.

Fiskensilaget pH ökade med en längre ensilering i denna studie vilket troligtvis beror på beninnehållet i ensilaget. Detta då neutraliseringen av benen kommer bilda kalciumkarbonat som ökar pH under en viss tidperiod (Arnesen *et al.* 1981; Arason 1994). Fiskensilagets pH skulle potentiellt kunna vara anledningen till att dieterna innehållande 7 dagar ensilage har lägre pellethållbarhet och hårdhet. Däremot borde denna effekt även i sådana fall synas på dieter som ensilerats 3 dagar då pH bara skiljer med 0,01 i värde. Högre pH är även främst en risk för bakteriell tillväxt (Arnesen *et al.* 1981; Arason 1994) och inga samband har tidigare satts av att de ska påverka pelletens hållbarhet och hårdhet.

Pellethårdheten kan även användas som en indikator för vattenstabiliteten, en parameter som är viktig för att en pellet ska kunna behålla näringsämnen utan att det läcker ut direkt i vattnet (Sørensen 2012). Vattenstabilitet är utöver det även viktigt för foderintag och fiskens hälsa (Baeverfjord *et al.* 2006; Aas *et al.* 2011b). Detta är således en parameter som hade varit av intresse att analysera i denna studie för att kunna stärka resultatets trovärdighet.

Utifrån datan i denna studie hade dieter med minst foderförlust kunnat väljas baserat på hållbarhet och hårdhet. Det är också viktigt att fodret har en bra pelletedensitet för att kunna få en lyckad oljebehandling som ökar fiskfodrets nutritionella värde. Dessutom finns få studier på hur tekniska pelletkvaliteten korrelerar med fiskens foderintag och hälsa. Vidare studier hade behövts göras då en hög hållbarhet rakt av inte innebär en mindre foderförlust. Minskat foderintag och sämre fiskhälsa kan leda till lägre tillväxt för fisken, men även en ökad mängd oätet foder som kan öka foderförluster av närsalter till omgivningen. Om den tekniska pelletkvaliteten inte gynnar fiskhälsan kan det dessutom orsaka välfärdsproblem.

6. Slutsatser

Slutsatsen från denna studie är att biprodukterna inte har en påverkan på fiskfodrets tekniska pelletkvalité, med undantag från pelletedensiteten för S1H som skiljer sig signifikant från CTRL. Denna signifikanta skillnad kan vara ett typ 1 fel eller bero på konsekvenser av torkning och förberedelse av fiskensilage. Biprodukterna har potentiellt en positiv inverkan på pellethållbarheten men fler prover hade behövts för säkrare resultat av pellethållbarheten samt att fler parametrar av den tekniska pelletkvaliteten hade kunnat analyserats.

Referenser

- Aarseth, K.A. (2004). Attrition of Feed Pellets during Pneumatic Conveying: the Influence of Velocity and Bend Radius. *Biosystems Engineering*, vol. 89 (2), pp. 197–213. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2004.06.008>
- Aarseth, K.A., Perez, V., Bøe, J.K. & Jeksrud, W.K. (2006a). Reliable pneumatic conveying of fish feed. *Aquacultural Engineering*, vol. 35 (1), pp. 14–25. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2005.06.006>
- Aarseth, K.A., Sørensen, M. & Storebakken, T. (2006b). Effects of red yeast inclusions in diets for salmonids and extrusion temperature on pellet tensile strength: Weibull analysis. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 126 (1), pp. 75–91. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2005.06.005>
- Aas, T.S., Oehme, M., Sørensen, M., He, G., Lygren, I. & Åsgård, T. (2011a). Analysis of pellet degradation of extruded high energy fish feeds with different physical qualities in a pneumatic feeding system. *Aquacultural Engineering*, vol. 44 (1), pp. 25–34. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaeng.2010.11.002>
- Aas, T.S., Terjesen, B.F., Sigholt, T., Hillestad, M., Holm, J., Refstie, S., Baeverfjord, G., Rørvik, K.-A., Sørensen, M., Oehme, M. & Åsgård, T. (2011b). Nutritional responses in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed diets with different physical qualities at stable or variable environmental conditions. *Aquaculture Nutrition*, vol. 17 (6), pp. 657–670. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00868.x>
- Aas, T., Sixten, H.J., Hillestad, M., Ytrestøyl, T., Sveier, H. & Åsgård, T. (2015). *Feed intake and nutrient digestibility and retention on Atlantic salmon fed diets with different physical pellet quality*. Tromsø: Nofima. (Rapportserie 35/2015)
- Arason, S. (1994). Production of fish silage. In: Martin, A.M. (ed.) *Fisheries Processing: Biotechnological applications*. Boston, MA: Springer US, pp. 244–272
- Arnesen, G., Arason, S. & Jonsson, S. (1981) “Silage from fish offal.” *Icelandic Fisheries Laboratories Technical Report*, vol. 126, pp. 1-19
- Arruda, L.F. de, Borghesi, R. & Oetterer, M. (2007). Use of fish waste as silage: a review. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 50 (5), pp. 879–886. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1516-89132007000500016>

- Baeverfjord, G., Refstie, S., Krogedal, P. & Åsgård, T. (2006). Low feed pellet water stability and fluctuating water salinity cause separation and accumulation of dietary oil in the stomach of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, vol. 261 (4), pp. 1335–1345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2006.08.033>
- Bergman, K. (2015). *Co-products in Swedish Seafood Processing Industry – quantification and present uses*. University of Gothenburg. Department of Biological and Environmental Sciences.
- Bower, C.K. & Hietala, K.A. (2008). Acidification Methods for Stabilization and Storage of Salmon By-Products. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, vol. 17 (4), pp. 459–478. DOI: <https://doi.org/10.1080/10498850802380572>
- Chen, Y.-S., Beveridge, M.C.M. & Telfer, T.C. (1999) Physical Characteristics of Commercial Pelleted Atlantic Salmon Feeds and Consideration of Implications for Modeling of Waste Dispersion through Sedimentation. *Aquaculture International*, vol. 7, p. 89-100
- Chevanan, N., Muthukumarappan, K. & Rosentrater, K.A. (2009). Extrusion Studies of Aquaculture Feed using Distillers Dried Grains with Solubles and Whey. *Food and Bioprocess Technology*, vol. 2 (2), pp. 177–185. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11947-007-0036-8>
- Chevanan, N., Muthukumarappan, K., Rosentrater, K.A. & Julson, J.L. (2007). Effect of Die Dimensions on Extrusion Processing Parameters and Properties of DDGS-Based Aquaculture Feeds. *Cereal Chemistry*, vol. 84 (4), pp. 389–398. DOI: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-84-4-0389>
- Espe, M., Holen, E., He, J., Provan, F., Chen, L., Øysæd, K.B., Seliussen, J., 2015. Hydrolyzed fish proteins reduced activation of caspase-3 in H2O2 induced oxidative stressed liver cells isolated from Atlantic salmon (*Salmo salar*). *SpringerPlus* 4, 658. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40064-015-1432-6>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2012) The State of World Fisheries and Aquaculture. Tillgänglig: <http://www.fao.org/3/a-i2727e.pdf> [2020-05-11]
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2018) *The State of World Fisheries and Aquaculture 2018 - Meeting the sustainable development goals*. Tillgänglig: <http://www.fao.org/3/i9540en/i9540en.pdf> [2020-05-11]
- Gallardo, P., Gaxiola, G., Soberano, S., Taboada, J.G., Pérez, M., Rosas, C., Cuzon, G., Espinosa, L.G., Sotelo, A., 2012. Nutritive value of diets containing fish silage for juvenile *Litopenaeus vannamei* (Bonne, 1931). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 92, 2320–2325. DOI: <https://doi.org/10.1002/jsfa.5632>

- Ghaly, A.E., Vasudevan Ramakrishnan, V., Brooks, M.S., Budge, S.M. & Deepika, D. (2013). Fish Processing Wastes as a Potential Source of Proteins, Amino Acids and Oils: A Critical Review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, vol. 5, ss 107-129. DOI: 10.4172/1948-5948.1000110
- Glencross, B., Rutherford, N. & Hawkins, W. (2011). A comparison of the growth performance of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) when fed soybean, narrow-leaf or yellow lupin meals in extruded diets. *Aquaculture Nutrition*, vol. 17 (2), pp. 317–325. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2010.00765.x>
- Havs och Vatten myndigheten (HaV) (2018). *Dumpning*. Tillgänglig: <https://www.havochvatten.se/hav/vagledning--lagar/vagledningar/provning-och-tillsyn/dumpning.html?fbclid=IwAR3EBAiYS1Vhegns2fxcgmd4CEJI7cVmwVea1Mw3rMEXFFrCbQ-ieZ3bOhI> [2020-05-27]
- Hansen, J.Ø. & Storebakken, T. (2007). Effects of dietary cellulose level on pellet quality and nutrient digestibilities in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, vol. 272 (1), pp. 458–465. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.09.005>
- Hilton, J.W., Cho, C.Y. & Slinger, S.J. (1981). Effect of extrusion processing and steam pelleting diets on pellet durability, pellet water absorption, and the physiological response of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.). *Aquaculture*, vol. 25 (2–3), pp. 185–194. DOI: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(81\)90180-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(81)90180-0)
- Jordbruksverket (2019). *Hantering av oönskad fångst*. Tillgänglig: https://djur.jordbruksverket.se/amnesomraden/handelmarknad/fiskeriochvattenbruksprodukter/hanteringavoonskadfangst.4.37e9ac46144f41921cd258a0.html?fbclid=IwAR1-uUH_WU9TPhNnCZyk3jfPzAp_wTisdqkhLzemUWve05IvkTRbItRhXMY [2020-05-27]
- Kalman, H. (1999). Attrition control by pneumatic conveying. *Powder Technology*, vol. 104 (3), pp. 214–220. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(99\)00097-2](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(99)00097-2)
- Klinzing, G.E., Marcus, R.D., Rizk, F & Leung, L.S. (1997). *Pneumatic Conveying of Solids: A Theoretical and Practical Approach*. Suffolk: Chapman & Hall.
- Olsen, R.L., Toppe, J. & Karunasagar, I. (2014). Challenges and realistic opportunities in the use of by-products from processing of fish and shellfish. *Trends in Food Science & Technology*, vol. 36 (2), pp. 144–151. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.01.007>
- Payne, J., Rattink, W., Smith, T. & Winowiski, T. (1994) *The Pelleting Handbook*. Windsor: Borregaard Lignotech.

- Pillay, T.V.R. & Kutty, M.N. (2005). Feed and nutrition. I: *Aquaculture: Principles and Practices*, 2nd ed. Oxford: Blackwell publishing, pp. 105–173.
- Pitchumani, R., Meesters, G.M.H. & Scarlett, B. (2003). Breakage behaviour of enzyme granules in a repeated impact test. *Powder Technology*, vol. 130 (1), pp. 421–427. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00245-0](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00245-0)
- Randey, B. (2018). *Pellet technical quality of feeds for Atlantic salmon*. Norwegian University of Life Sciences. Department of Animal and Aquaculture Sciences
- Salman, A.D., Hounslow, M.J. & Verba, A. (2002). Particle fragmentation in dilute phase pneumatic conveying. *Powder Technology*, vol. 126 (2), pp. 109–115. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(02\)00048-7](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(02)00048-7)
- SFS 2016:784. *Förbud mot dumpning och förbränning*. Stockholm: Miljö- och energidepartementet
- Sørensen, M. (2012). A review of the effects of ingredient composition and processing conditions on the physical qualities of extruded high-energy fish feed as measured by prevailing methods. *Aquaculture Nutrition*, vol. 18 (3), pp. 233–248. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2011.00924.x>
- Sørensen, M., Nguyen, G., Storebakken, T. & Øverland, M. (2010). Starch source, screw configuration and injection of steam into the barrel affect the physical quality of extruded fish feed. *Aquaculture Research*, vol. 41 (3), pp. 419–432. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2009.02346.x>
- Sørensen, M., Stjepanovic, N., Romarheim, O.H., Krekling, T. & Storebakken, T. (2009). Soybean meal improves the physical quality of extruded fish feed. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 149 (1), pp. 149–161. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2008.05.010>
- Stradmeyer, L., Metcalfe, N.B. & Thorpe, J.E. (1988). Effect of food pellet shape and texture on the feeding response of juvenile Atlantic salmon. *Aquaculture*, vol. 73 (1), pp. 217–228. DOI: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90056-7](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90056-7)
- Strahm, B. (1998) Fundamentals of polymer science as an applied extrusion tool. *Cereal Foods World*, vol. 43, pp 621–625
- Thomas, M., van der Poel, A.F.B., 1996. Physical quality of pelleted animal feed 1. Criteria for pellet quality. *Animal Feed Science and Technology* 61, 89–112. DOI: [https://doi.org/10.1016/0377-8401\(96\)00949-2](https://doi.org/10.1016/0377-8401(96)00949-2)
- Thomas, M., van Vliet, T. & van der Poel, A.F.B. (1998). Physical quality of pelleted animal feed 3. Contribution of feedstuff components. *Animal Feed Science and Technology*, vol. 70 (1), pp. 59–78. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0377-8401\(97\)00072-2](https://doi.org/10.1016/S0377-8401(97)00072-2)
- Taylor, T. (1998). Specific energy consumption and particle attrition in pneumatic conveying. *Powder Technology*, vol. 95 (1), pp. 1–6. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0032-5910\(97\)03309-3](https://doi.org/10.1016/S0032-5910(97)03309-3)

White, P. 2013. Environmental consequences of poor feed quality and feed management. In M.R. Hasan and M.B. New, eds. On-farm feeding and feed management in aquaculture. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 583. Rome, FAO. pp. 553–564

Bilaga 1

Tabell 4: Pelletdensitet visat med medelvärde samt standardavvikelse i g/L. Diaternas siffror 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage. Om diaterna har samma upphöjda bokstav skiljer de sig inte signifikant åt men om de har olika finns det signifikanta skillnader

Pelletdensitet (g/L)									
CTRL	S1L	S1M	S1H	S3L	S3M	S3H	S7L	S7M	S7H
453 ^a ± 23	408 ^a ± 7,2	440 ^a ± 18,2	509 ^b ± 0,6	410 ^a ± 30,3	410 ^a ± 7,2	423 ^a ± 23,2	407 ^a ± 3	411 ^a ± 11,5	408 ^a ± 4,6

Tabell 5: Pellethårdhet i kg med dess medelvärde och standardavvikelse. Diaternas siffror 1, 3, 7 talar om antalet dagar som ensilaget har ensilerats medan L, M, H förklarar om fodret har låg, medel eller hög inblandning av ensilage. Om diaterna har samma upphöjda bokstav skiljer de sig inte signifikant men om de ha olika finns det signifikanta skillnader.

Pellethårdhet (kg)									
CTRL	S1L	S1M	S1H	S3L	S3M	S3H	S7L	S7M	S7H
1,94 ^{ab} ± 0,72	2,1 ^{ab} ± 0,82	1,24 ^{ab} ± 0,33	1,58 ^{ab} ± 0,4	2,68 ^a ± 1,75	2,12 ^{ab} ± 0,54	1,7 ^{ab} ± 0,77	0,62 ^b ± 0,16	1,2 ^{ab} ± 0,7	1,24 ^{ab} ± 0,33